

文章编号: 1674-5566(2013)06-0895-08

淀山湖不同生长型沉水植物分布及其性状研究

涂克环¹, 施文¹, 古旭^{1,2}, 达良俊^{1,2}

(1. 华东师范大学环境科学系, 上海 200241; 2. 华东师范大学上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200241)

摘要: 不同生长型植物具有不同的性状特征, 而植物的性状特征又决定了其对不同生境的适应能力。淀山湖是我国典型的富营养化湖泊, 通过对淀山湖不同生长型沉水植物分布现状调查, 及其特征性状的测定, 分析不同生长型沉水植物性状特征对生境的适应性及其响应机制, 探讨了富营养化湖泊逆向演替的驱动因子和未来演替方向。结果表明: 不同生长型沉水植物在相同环境条件下采取了相异的策略, 进而决定了其分布。大眼子菜型植物竹叶眼子菜干物质含量高, 因而组织强度高, 能在受风浪影响的大水体形成优势群落; 小眼子菜型植物黑藻叶面积小、比叶面积大、叶面积/地上干重高且叶片集中于上层水体, 在小面积水域具有极高的竞争优势, 在湖湾极易形成致密的单种群落; 苦草型植物苦草叶面积大, 叶生物量主要分布于下层水体, 在透明度低的水体中无法获得足够光资源, 因而其群落在淀山湖消失。富营养化水体中具生存优势的沉水植物均具有叶面积小、叶片集中分布于上层水体等特征, 这均有助于更好地获得上层水体光资源, 表明水下可利用光源是水生植被演替的关键驱动因子。

研究亮点: 目前对湖泊富营养化的研究中, 沉水植物对生境的响应机制及演替方向仍不十分明了。对淀山湖不同生长型沉水植物分布及其性状进行研究, 探讨湖泊富营养化过程中驱动沉水植被逆向演替的关键因子, 为富营养化湖泊的生态恢复提供参考。

关键词: 淀山湖; 富营养化; 沉水植物; 生长型; 演替

中图分类号: Q 948

文献标志码: A

植物性状是植物在漫长的进化过程中, 与环境相互作用而逐渐形成的内在生理和外形态方面的适应对策, 目的是最大程度地获取资源、减少不利环境的影响^[1]。生长型指的是亲缘上常常无关的一组分类群通过进化而产生的形态上可比的类型, 它是对一种特定生境中特定生活方式的适应^[2-3]。已有研究表明, 不同生长型植物具有不同的性状特征, 从而决定了植物对特定环境的适应性^[4]。

目前湖泊富营养化是全球所面临的最重大生态问题之一。淀山湖作为我国典型的富营养化湖泊, 近30年的研究表明, 淀山湖水生植被, 尤其是沉水植被已经出现逆向演替趋势^[5]。沉水植被由于完全水生的特点, 因而对环境胁迫的反应最为敏感, 是研究湖泊生态系统退化生态学

的立足点^[6]。虽然国内外学者研究已表明植物的性状特征与其生境适应性间具有显著相关性^[7-9]。但在湖泊富营养化过程中, 沉水植物未来演替方向, 以及不同生长型沉水植物对生境响应机制仍不是十分明了。本研究通过对淀山湖不同生长型沉水植物分布现状的调查, 以及植物特征性状的测定, 分析不同生长型沉水植物分布与其性状特征间关系, 以及不同生长型植物对环境胁迫的响应机制, 并对湖泊富营养化过程中驱动沉水植被逆向演替的关键因子和未来演替方向进行了探讨。

1 研究方法

1.1 样方设置

淀山湖 (31°04' ~ 30°12' N, 120°54' ~ 121°

收稿日期: 2013-06-14 修回日期: 2013-09-10

基金项目: 国家自然科学基金(40971041); 上海市科学技术委员会科研计划项目(08DZ1203102)

作者简介: 涂克环(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为城市生态学。E-mail: tukehuan@126.com

通信作者: 达良俊, E-mail: ljda@des.ecnu.edu.cn

01'E)地处江苏、浙江、上海两省一市交界处。本研究分别于2009年夏季(8-9月)、冬季(12月)和2010年春季(5月)对淀山湖沉水植物进行调查,南北方向共设置22条样线,共计163个样点,样线之间距离约600m,样点间距约700m,并在此基础上增设沿岸环湖调查路线,由于围隔和人工驳岸修建设施的阻拦而使船只无法通行的水域,采样点有所调整(图1)。

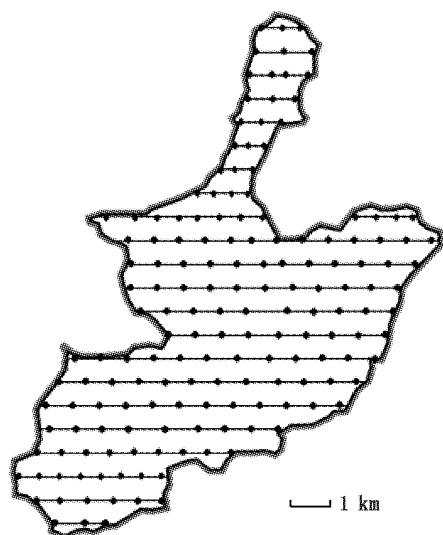


图1 淀山湖沉水植被调查样线

Fig. 1 The investigation sampling lines for submerged vegetation in Dianshan Lake

1.2 采样方法

根据GPS定位确定采样点后,在以样点为中心的约500m²水域内进行观测和采样,记录出现的物种及其生境情况;利用面积为0.4m×0.5m的带网铁夹,在每一采样点2m×2m的范围内随机采集植物3~5次。将采集到的植物全部洗净后,按种分开称量鲜重以确定群落优势种;并利用GPS实时面积计算功能,沿植物分布区外缘绕行以测量群落面积。物种频度*F*利用公式计算:

$$F = (n_i/N) \times 100\% \quad (1)$$

式中:*F*为频度;*n_i*为*i*物种出现的样点数;*N*为全部样点数。

生长型主要根据李伟等和国外多名学者的研究成果进行划分^[4,10-11]。

1.3 测定方法

1.3.1 生物量测定

将采集的不同物种样品拉直,将其根、茎、叶

分开,分别测量鲜重,并将样品置于80℃恒温干燥箱经烘干48h后,分别测量各器官的干物质含量,植物干物质含量为各器官干重之和,并结合采样时测得的实际水深作生物量垂直分配图。

1.3.2 叶面积

叶片是高等植物进行光合作用的主要器官,其性状特征直接影响到植物的基本行为和功能^[12]。本研究测定了单叶面积、比叶面积和叶面积/地上生物量3个叶面积指标。叶面积测定参考扫描-干重法^[13]。取一张白色A4复印纸,作为标准背景板,在左上角精确绘出边长1mm×1mm、2mm×2mm和3mm×3mm3个正方形,并涂成黑色,作为标准参照,参照面积分别为1mm²、4mm²和9mm²。将植物叶片称鲜重后平展在画好标准参照的A4纸上,用透明胶布完全覆盖叶片固定,保证叶片不与标准参照交叉重叠。用扫描仪进行1:1扫描。将扫描好的图片用Photoshop CS4 11.0版打开,设置RGB Color(彩色)模式,取分辨率为100dpi,得到单张A4纸的叶像素和标准参照像素,记录数据并换算叶面积,单叶面积取该物种所有测定叶片的平均值。单叶面积为叶片像素总和与标准参照面积的乘积比叶片数与标准参照像素的乘积。并计算出比叶面积和叶面积/地上生物量。比叶面积(SLA)为叶面积与其干重之比,叶面积/地上生物量为叶面积比其地上部分干重。

2 结果

2.1 分布现状

本次调查发现淀山湖沉水植物10种,竹叶眼子菜频度最高为16.1%,其次为穗状狐尾藻、金鱼藻、水盾草和菹草,而黑藻、苦草、大茨藻、小茨藻和莼齿眼子菜频度不足2%。从生长型来看,除去外来种水盾草为水毛茛型外,本土植物可划分为5个生长型,分别为小眼子菜型、大眼子菜型、狐尾藻型、金鱼藻型、苦草型,其中小眼子菜型物种最多,为5种,其余4个生长型各含1种;而生长型频度由大到小依次为大眼子菜型(16.1%)>小眼子菜型(6.7%)>狐尾藻型(5.6%)>金鱼藻型(4.9%)>苦草型(1.8%),见表1。

沉水植物群落总面积为0.23km²,全湖覆盖率为0.38%,共分为5个群落类型,分别为:菹草

群落、竹叶眼子菜群落、黑藻群落、穗状狐尾藻群落和金鱼藻群落,而苦草型植物群落则从淀山湖消失。其中竹叶眼子菜群落分布面积最大,为 0.18 km²,全湖覆盖率为 0.31%,为优势群落(表 2)。

表 1 淀山湖沉水植物
Tab. 1 The list of submerged vegetation
in Dianshan Lake

植物种类	科	生长型	频度/%
竹叶眼子菜 <i>Potamogeton malaiianus</i>	眼子菜科 Potamogetonaceae	大眼子菜型 Magnopotamids	16.1
穗状狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>	小二仙草科 Haloragidaceae	狐尾藻型 Myriophyllids	5.6
金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	金鱼藻科 Ceratophyllaceae	金鱼藻型 Certophyllids	4.9
水盾草 <i>Cabomba caroliniana</i> ▲	睡莲科 Nymphaeaceae	水毛茛型 Batrachids	4.3
菹草 <i>Potamogeton crispus</i>	眼子菜科 Potamogetonaceae	小眼子菜型 Parvopotamids	3.1 (2010 春)
黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>	水鳖科 Hydrocharitaceae	小眼子菜型 Parvopotamids	1.8
苦草 <i>Vallisneria natans</i>	水鳖科 Hydrocharitaceae	苦草型 Vallisnerids	1.8
大茨藻 <i>Najas marina</i>	茨藻科 Najadaceae	小眼子菜型 Parvopotamids	0.6
小茨藻 <i>Najas minor</i>	茨藻科 Najadaceae	小眼子菜型 Parvopotamids	0.6
鳉齿眼子菜 <i>Potamogeton pectinatus</i>	眼子菜科 Potamogetonaceae	小眼子菜型 Parvopotamids	0.6

注:“▲”表示外来种或逸生种。

表 2 淀山湖沉水植物群落面积
Tab. 2 Area of submerged vegetation
communities in Dianshan Lake

群落类型	分布面积/km ²	全湖覆盖率/%
菹草群落	0.01	0.01
苦草群落	-	-
竹叶眼子菜群落	0.18	0.31
黑藻群落	0.02	0.03
穗状狐尾藻群落	0.01	0.02
金鱼藻群落	0.01	0.01

注:“-”表示无数据。

从分布区域来看,沉水植物主要分布于湖湾和浅水近岸带,南部湖区物种较北部湖区丰富。湖湾物种最丰富,主要有竹叶眼子菜、菹草、黑藻、金鱼藻和穗状狐尾藻;近岸带物种丰富度较湖湾低,主要为竹叶眼子菜。就生长型而言,大眼子菜型植物在较大面积的水域形成群落,成为优势群落;小眼子菜型植物在湖湾形成致密的单种群落;狐尾藻型植物和金鱼藻型植物在湖湾有群落分布。

2.2 叶面积

水生植物叶面积大小代表了叶片与水体物质交换能力的高低,叶面积越小、羽裂程度越大的叶片,在不需增加光合作用活性表面的情况下与水体接触的叶表面积越大,可以增强叶片和周围环境的交换过程,进而营养周转率越高^[6]。金鱼藻、黑藻、狐尾藻的叶面积较小,竹叶眼子菜叶面积中等而苦草型叶面积最大,即这些物种物质能量交换速率从高到低依次为:金鱼藻、黑藻、穗状狐尾藻 > 竹叶眼子菜 > 苦草(图 2)。

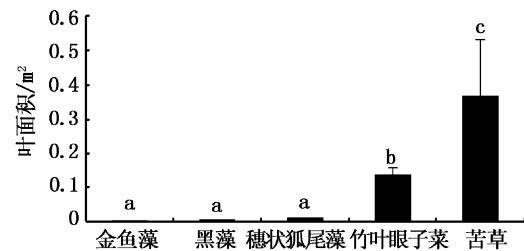


图 2 不同生长型沉水植物叶面积

Fig. 2 Area of single leaf of submerged
vegetation of different growth forms

不同字母表示存在显著性差异,图 3-9 同。

2.3 比叶面积

比叶面积代表了植物获取和利用光资源能力的大小,在同等光强条件下,比叶面积越大,生长速率和净光合速率越大。穗状狐尾藻、竹叶眼子菜、苦草比叶面积较低、金鱼藻中等、黑藻比叶面积高,即这些物种叶片在同等光强条件下获取光资源能力从大到小依次为:黑藻 > 金鱼藻 > 穗状狐尾藻、竹叶眼子菜、苦草(图 3)。

2.4 植株叶面积/地上干重

植株叶面积/地上干重反映了植株的光需求,植株的地下/地上生物量和地上部分叶面积决定了植物单位生物量的光资源获取能力^[14]。植株叶面积/地上干重越高,植株获取光资源的

能力越强。物种水生植物的植株叶面积/地上干重均有显著差异,从高到低依次为:黑藻 > 苦草 > 穗状狐尾藻 > 竹叶眼子菜 > 金鱼藻(图 4)。

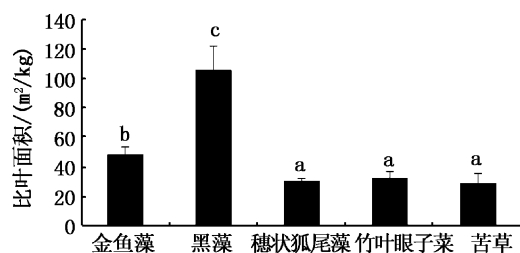


图 3 不同生长型沉水植物比叶面积
Fig. 3 Specific leaf area of submerged vegetation of different growth forms

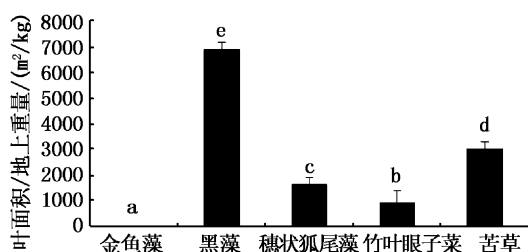


图 4 不同生长型沉水植物叶面积/地上干重
Fig. 4 Specific leaf area divided by shoot dry weight of submerged vegetation of different growth forms

2.5 干物质含量

干物质含量与植株组织强度有关,相对而言,干物质含量越高,则更能够抵抗水体扰动中机械作用力对植株的不利影响。植物干物质含量除竹叶眼子菜外,其余植物的干物质含量均较低。而叶干物质含量的高低顺序为:竹叶眼子菜 > 黑藻、穗状狐尾藻 > 金鱼藻、苦草。除苦草(基本无茎)外,各植物的茎干物质含量没有显著差异(图 5-7)。

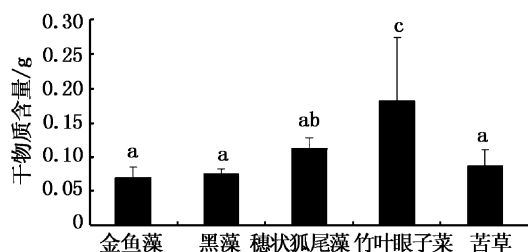


图 5 不同生长型沉水植物干物质含量
Fig. 5 Dry matter content of submerged vegetation of different growth forms

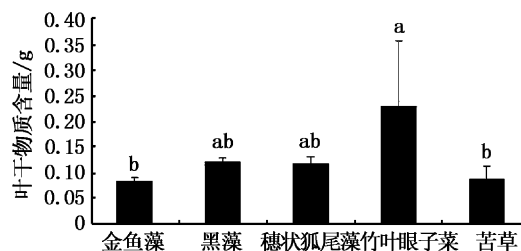


图 6 不同生长型沉水植物叶干物质含量
Fig. 6 Leaf dry matter content of submerged vegetation of different growth forms

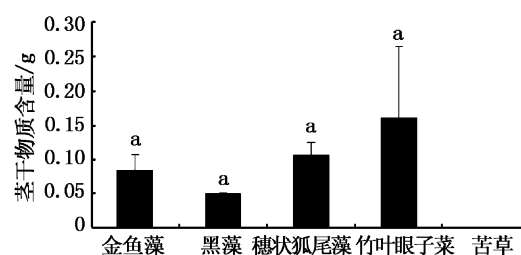


图 7 不同生长型沉水植物茎干物质含量
Fig. 7 Stem dry matter content of submerged vegetation of different growth forms

2.6 生物量干重的器官分配

叶片是植物的光和器官,枝条是植物的结构支撑和养分输送组织,水生植物对叶和枝的生物量分配体现了不同的生存策略。叶片占总生物量的比重越高,表明植物对光合作用的投入愈大;而枝条生物量的比重越高则表明植物对维持个体形态稳定的组织投入越大,也表明其抗水体机械扰动的能力越强。叶干重/地上干重从高到低依次为:苦草 > 金鱼藻 > 黑藻、穗状狐尾藻 > 竹叶眼子菜;茎干重/地上干重从高到低依次为:竹叶眼子菜 > 穗状狐尾藻 > 黑藻 > 金鱼藻 > 苦草(图 8、9)。

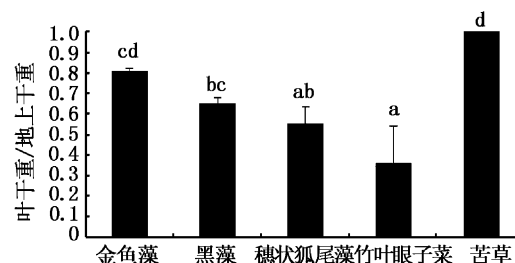


图 8 不同生长型沉水植物叶干重/地上干重
Fig. 8 Leaf dry weight divided by shoot dry weight of submerged vegetation of different growth forms

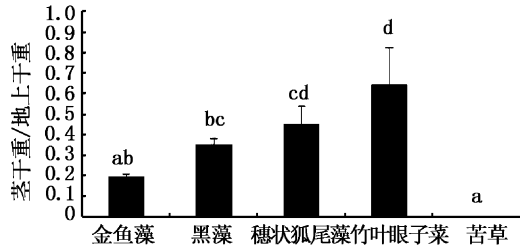


图9 不同生长型沉水植物茎干重/地上干重

Fig.9 Stem dry weight divided by shoot dry weight of submerged vegetation of different growth forms

2.7 沉水植物不同生长型生物量垂直分配

由于金鱼藻型植物金鱼藻在水体中的存在方式主要为悬浮于水中生长,一般不扎根,其生物量集中于水体上层,因此,仅对比大眼子菜型、小眼子菜型、狐尾藻型、苦草型4个生长型沉水

植物的生物量在水层中的垂直分配。

2010年夏季在淀山湖采集到的不同生长型物种的生物量垂直分配有所不同,其中竹叶眼子菜、黑藻和穗状狐尾藻生物量分配的趋势均为越靠近水面生物量越高,苦草的生物量在水层中分布较均匀,但靠近水底的生物量相对较高,且总体生物量的垂直分配格局主要取决于叶的生物量,竹叶眼子菜、黑藻和穗状狐尾藻的茎的生物量在整个水层中分布较均匀(图10b)。

对比这些物种1992年在淀山湖的生物量垂直分配^[15]发现,2010年各种植物的生物量更集中于水体上层,其中黑藻和苦草的生物量上移现象最明显;除竹叶眼子菜外,其他3种植物靠近水面30cm内,分布的生物量比例均有增加(图10)。

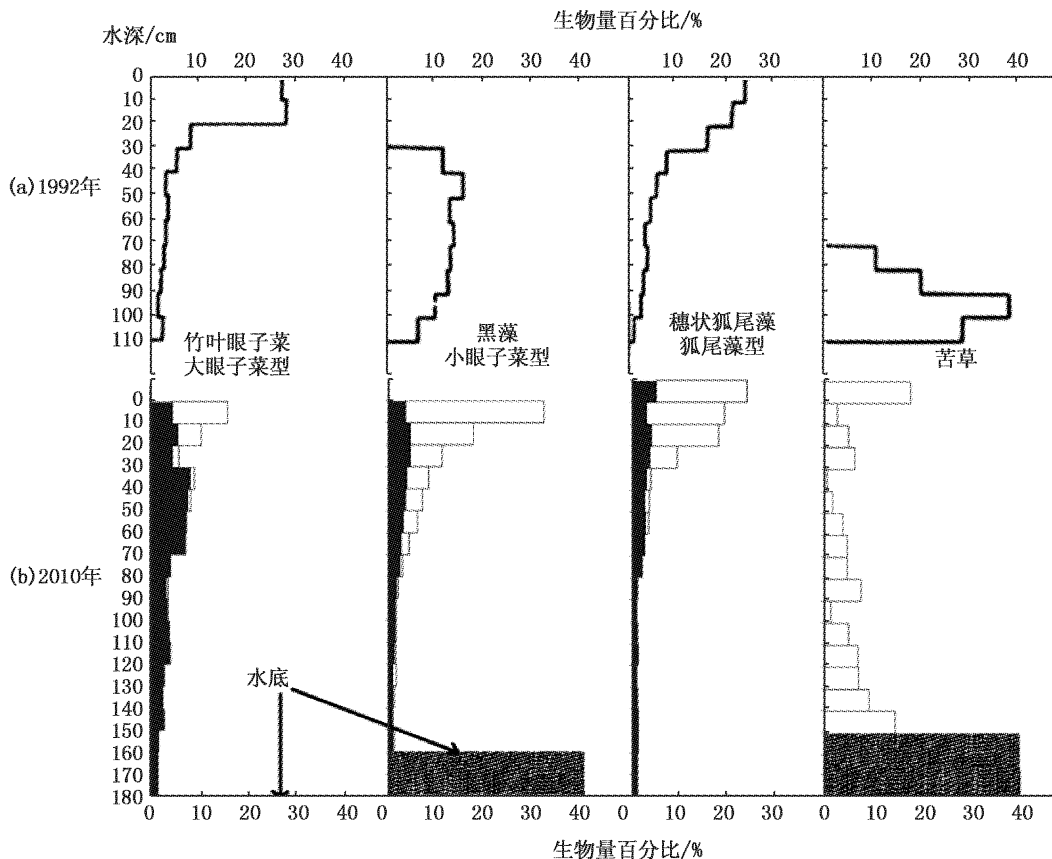


图10 淀山湖不同生长型沉水植物夏季生物量垂直分配及变化(1992与2010)

Fig.10 Changes in biomass partitioning of different tissues along vertical direction of submerged vegetation of different growth forms in Dianshan Lake in summer(1992 and 2010)

3 讨论

不同生长型代表着一系列不同性状的组合,它们之间差别很大,但这些沉水植物均能在淀山湖中存活甚至形成群落,这说明了不同生长型沉水植物在相同环境条件下采取了相异的策略,而其所采取的特定策略决定了该物种的分布和特定生境下的优势度。

3.1 生长型与沉水植物在淀山湖的分布

干物质含量高的植物通常组织强度高,而茎干重/地上干重高的沉水植物拓展空间能力更强、支撑系统更牢固,因而不同生长型所代表的植株干物质含量和茎干重/地上干重特征决定了目前沉水植物在淀山湖的分布。干物质含量和茎干重/地上干重均较低的金鱼藻、黑藻、苦草的主要分布于静水的湖湾;干物质含量低,但茎干重/地上干重较高的穗状狐尾藻大多分布于湖湾,但也能在水流具一定速度的沿岸带有分布;而这两个性状均较高的竹叶眼子菜则主要分布于风浪大的硬质驳岸沿岸带;而目前淀山湖没有拖网捕鱼等强烈人为干扰的水域中,湖湾水域面积很小,沿岸带面积较大,这就是竹叶眼子菜成为淀山湖优势群落的原因;此外,沿岸带风浪常常导致竹叶眼子菜叶片破损,也可能是导致竹叶眼子菜茎干重/地上干重比较高的原因。

叶面积小的沉水植物营养周转率高,而比叶面积、叶面积/地上干重和叶干重/地上干重则在一定程度上表征了植物体的光合能力强弱,这些

指标高的植物能更高效的利用光资源。金鱼藻和黑藻的叶面积小,而比叶面积、叶面积/地上干重和叶干重/地上干重均较高,这很好的解释了为何在相对稳定、水体和基质肥沃的湖湾,金鱼藻和黑藻常常能够形成十分致密的群落,而穗状狐尾藻、竹叶眼子菜、苦草优势度很低。

3.2 不同生长型沉水植物对淀山湖环境的响应

不同生长型代表的一系列性状组合决定了不同沉水植物在淀山湖的适应性。淀山湖目前水体营养盐浓度高、透明度低、扰动大^[5],利用上述研究结果对有利于在这种环境条件下生存的性状做了标注(表3),若以标注个数为得分(各标注赋值均为1分),则各生长型植物的适应性得分为:金鱼藻型金鱼藻4分,小眼子菜型黑藻5分,狐尾藻型穗状狐尾藻3分,大眼子菜型竹叶眼子菜4分,苦草型苦草3分。依据该得分,小眼子菜型植物黑藻似乎最适应淀山湖目前的环境条件,而在2008-2010年在淀山湖的生态修复工程区中的植被恢复过程也证明了这一点:恢复初期,工程区围隔中种植了金鱼藻、黑藻、穗状狐尾藻、竹叶眼子菜、苦草等植物,但在来年夏季,黑藻成为了围隔中的绝对优势种,盖度接近100%。但事实上,由于黑藻干物质含量低因此枝条脆弱,植株很容易被风浪打散,因而在淀山湖风浪稍大的水域完全无法发展成群落,这表明风浪引起的水体扰动是淀山湖中限制黑藻群落发展的主要原因。

表3 淀山湖不同生长型沉水植物性状特征

Tab.3 Traits of submerged vegetation of different growth form in Dianshan Lake

物种	生长型	叶面积	比叶面积	叶面积/地上干重	干物质含量	叶干物质含量	叶干重/地上干重	茎干重/地上干重	叶生物量主要分布水层位置
金鱼藻	金鱼藻型	低*	中	低	低	低	较高*	较低	高●
黑藻	小眼子菜型	低*	高*●	高●	低	中	中	中等	中高●
穗状狐尾藻	狐尾藻型	低*	低	中	低	中	中	较高★	高●
竹叶眼子菜	大眼子菜型	中	低	较低	高★	高★	低	高★	高●
苦草	苦草型	高	低	较高●	低	低	高*●	低	中低

注:“*”表示在高营养水体中具优势;“●”表示在低透明度水体中具优势;“★”表示在扰动大的水体中具优势。

2010年沉水植物植株生物量相对1992年明显上移的现象是植物对淀山湖水体光照条件恶化的响应。透明度的下降导致穿透至水体下层可利用光量的减少,在水底着根生长的沉水植物必须将叶片分布于更上层的水体以获取足够的光资源。不同生长型物种的变化程度是不同的,

淀山湖中,黑藻和苦草生物量垂直分布发生了最大的变化,这在一定程度上也反映了植物形态的可塑性,即使是同一物种,其形态特征在不同的环境条件下会发生很大的变异。但这种响应仍然是有限的,由于苦草型植物苦草叶片为基生叶,这决定了其生物量必然有一大部分分布于水

体下层,而当水下光照条件低于一定阈值,苦草将无法生存。

3.3 生长型与淀山湖沉水植被演替

苦草型植物苦草曾经是淀山湖最主要的群落优势种^[16-17],但目前苦草群落在淀山湖已消失,能够采集到的苦草斑块的单位生物量很低,观察其与其他生长型物种的最大区别在于叶面积与叶片主要分布的水层位置(表3)。苦草单叶面积大因此营养周转率低、生长缓慢,加之生物量主要分布于水体中下层,因此无法获得处于上层水体的光资源,这在淀山湖水体透明度不断降低的情况下是十分不利于生存的。因此,水体下层的可利用光量的减少很可能是导致淀山湖苦草群落消失的关键。而如果淀山湖的沉水植被能够发展,根据以上的分析,大眼子菜型植物竹叶眼子菜和小眼子菜型植物黑藻在淀山湖目前的水环境条件下都具有较高的生存优势,但竹叶眼子菜的优势在不受湖湾庇护的沿岸带才能够体现,而黑藻却无法分布到风浪大的水域。因此,推断在淀山湖风浪较大的水域,大眼子菜型植物竹叶眼子菜将继续占据优势;而在静水水域则很可能形成黑藻群落,但这需在有种源的情况下才会发生。

4 结论

对淀山湖不同生长型沉水植物叶面积、比叶面积、叶面积/地上生物量、干物质含量、生物量在不同器官的分配以及叶片在水层中的分布位置等一系列与光合作用有关的性状的研究结果表明:不同生长型沉水植物在相同环境条件下采取了相异的策略,而其所采取的特定策略则决定了该物种的分布和优势程度。大眼子菜型植物竹叶眼子菜因具有高的干物质含量,从而组织强度高,因而能在较大面积的水域形成优势;小眼子菜型植物黑藻因其小叶、高比叶面积、叶面积/地上干重高以及叶片集中于上层水体的性状组合,在小面积水域具有极高的竞争优势,因而在风浪小的湖湾地带最有可能成为优势种;苦草型植物苦草因其叶面积大、叶片主要分布于下层水体,在水体透明度下降的情况下无法获得足够的可利用光,因而其群落逐渐在淀山湖消失,而大眼子菜型、小眼子菜型、狐尾藻型和金鱼藻型植物则因为与苦草这两个性状相反的特征而得以

获得上层水体的资源从而在淀山湖得以存活。综上,在富营养化水体中水生植物的共同特点是叶面积小(营养周转快、生长快速从而突破下层水体的光照限制)和叶片分布于上层水体(将耗能多的光合器官集中于光资源丰富的水层),这均与更好的获得上层水体光资源密切相联。因此,可利用光的减少是驱动富营养化湖泊淀山湖沉水植被演替的关键。

参考文献:

- [1] MCINTYRE S L J L. Disturbance response in vegetation-towards a global perspective on functional traits [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1999, 10(5): 621-630.
- [2] DU REITZ G E. Zur methodologischen Grundlage der modernen Pflanzensoziologie[M]. Thesis: Uppsala, 1921:272.
- [3] DU REITZ G E. Life-forms of terrestrial flowering plants [J]. *Acta Phytogeogr Suec*, 1931, 3: 1-95.
- [4] 李伟, 钟杨. 水生植被研究的理论与方法[M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 1992.
- [5] 施文, 刘利华, 达良俊. 上海淀山湖水生高等植物现状及其近30年变化[J]. *湖泊科学*, 2011, 23(3): 417-423.
- [6] 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [7] DIAZ S, CABIDO M, CASANOVES F. Plant functional traits and environmental filters at a regional scale [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1998, 9: 113-122.
- [8] HAMERLYNCK E P. Chlorophyll fluorescence and photosynthetic gas exchange responses to irradiance of Tree of Heaven (*Ailanthus altissima*) in contrasting urban environments [J]. *Photosynthetica*, 2001, 39(1): 79-86.
- [9] MONIKA S, RUDY V D, PETR M, et al. Distribution of clonal growth traits among wetland habitats [J]. *Aquatic Botany*, 2011, 95(2): 88-93.
- [10] HOGEWEG P, BRENKERT A L. Structure of vegetation: a comparison of aquatic vegetation in India, the Netherlands and Czechoslovakia [J]. *Trophic Ecology*, 1969, 10: 139-162.
- [11] THUNMARK S. Karaktarsdrag i sormlandsk sjovegetation [M]. Sodermanland: Natur, 1952.
- [12] 薛立, 曹鹤. 逆境下植物叶性状变化的研究进展 [J]. *生态环境学报*, 2010(8): 2004-2009.
- [13] 赵聪蛟, 邓自发, 周长芳, 等. 大批量测定植物(互花米草)叶面积的一种新方法 [J]. *生态科学*, 2007(4): 327-331.
- [14] MIDDELBOE A L, MARKAGER S. Depth limits and minimum light requirements of freshwater macrophytes [J]. *Freshwater Biology*, 1997, 37(3): 553-568.
- [15] 由文辉. 淀山湖水生维管束植物群落的生物量及其季节变化 [J]. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 1995(4): 81

-87.

[16] 上海水产学院淡水养殖专业. 淀山湖渔业资源的初步调查报告[J]. 上海水产学院学报, 1960(1): 3-99.

[17] 由文辉. 淀山湖水生维管束植物群落研究[J]. 湖泊科学, 1994, 6(4): 317-324.

Research on submerged vegetation distribution and traits of different growth forms in Dianshan Lake

TU Ke-huan¹, SHI Wen¹, GU Xu^{1,2}, DA Liang-jun^{1,2}

(1. Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Shanghai Key Laboratory for Urban Ecology and Sustainability, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: Plants of different growth forms have different plant traits, while plant traits determine their adaptive capacity to the environment. Dianshan Lake is a typical eutrophic lake in China. In order to find out the key driver in the succession of submerged vegetation and the future direction of succession, the research investigated the present state of submerged vegetation in Dianshan Lake, measured plant traits, analyzed the adaptive capacity and response mechanism. The results indicated that: submerged vegetation of different growth forms adopted different strategies, which determine their distribution. Magnopotamids plants *Potamogeton malaianus* could establish communities in large area of waters, because of its high tissue intensity. Parvopotamids plants *Hydrilla verticillata*, whose characteristics are small leaf, high specific leaf area, high specific leaf area divided by shoot dry weight and locating most leaves in upper water layer, were capable to exclude other species and form density communities in small area of waters. The disappearance of communities of Vallisnerids plants *Vallisneria natans* was mostly due to the traits of large leaf and locating most leaves at the bottom of water. Species capable to survive in eutrophic waters all had the traits of small leaf and locating most leaves in upper water layer, which helps to get the light in upper water layer. These results indicated that the available light underwater was the key factor to drive submerged vegetation succession.

Key words: Dianshan Lake; eutrophication; submerged vegetation; growth form; succession